Signed with NamirialSign
MATTEO BRUNO
01/05/2026 19:20:58 UTC+0200

ALLEGATO 1
Iniziative per il Consumo Idrico
&
Analisi della domanda di picco

Campus Data Center a Rho e Pero

Indice

1. Strategie meccaniche e operative per la riduzione del consumo idrico 3
1.1 Temperature di funzionamento elevate nel Data Hall 3
1.2 Cicli di concentrazione aumentati 3
1.3 Trattamento dell'acqua a osmosi inversa 3
1.4 Recupero e riutilizzo da blowdown 3
1.5 Raccolta delle acque piovane e recupero delle acque reflue 3
1.6 Raffreddamento libero e progettazione passiva 3
1.7 Sommario 4
2. Configurazione di progettazione 5
2.1. Metodologia della simulazione oraria 5
Catena di calcolo 5
2.2. Perché il 2003 è l'anno di massimo successo 6
2.3. Ripartizione mensile della domanda 2003 6
2.4. Agosto 2003 — Il Contributore Dominante 6
2.5. Fisica dell'evaporazione e relazione tra CoC 7
2.6. Profilo di intensità di domanda 7
2.7. Dati di Output di Calcolo 8
3. Conclusioni 9

1. Strategie meccaniche e operative per la riduzione del consumo idrico

I sistemi di raffreddamento dei data center che si basano su tecnologia evaporativa consumano acqua industriale (IW) in funzione delle condizioni climatiche ambientali, dei volumi di flusso d'aria e della composizione chimica dell'acqua. Sebbene la domanda di picco sia guidata da eventi meteorologici estremi, una serie di strategie meccaniche e operative possono ridurre significativamente il consumo totale annuo di acqua. Queste strategie affrontano ogni fase del ciclo dell'acqua — dalla minimizzazione delle ore in cui si attiva il raffreddamento evaporativo, fino al recupero dell'acqua che altrimenti verrebbe scaricata. Di seguito una loro descrizione.

1.1 Temperature di funzionamento elevate nel Data Hall

Aumentare i punti di regolazione della temperatura dell'aria di alimentazione della sala dati di 2°C aumenta la soglia di temperatura esterna a cui si attiva il raffreddamento evaporativo. Questo riduce direttamente le ore annuali di funzionamento in modalità evaporativa, riducendo sia i volumi di evaporazione che quelli di blowdown.

1.2 Cicli di concentrazione aumentati

Operare a cicli di concentrazione (CoC) più elevati riduce la scarica di blowdown. Passare da CoC 3 a CoC 5 riduce il moltiplicatore totale di reazione da 1,50× all'1,25× di evaporazione con una conseguente riduzione del 17% della domanda idrica totale senza alcun impatto sulle prestazioni di raffreddamento.

1.3 Trattamento dell'acqua a osmosi inversa

Il pretrattamento RO rimuove il 95–99% dei solidi disciolti dall'acqua di servizio in ingresso, permettendo al sistema di raffreddamento di operare a CoC più elevato prima che sia necessario il blowdown. Sebbene l'osmosi inversa produca un flusso di rifiuto (20–30% dell'input), questo è più che compensato dalla riduzione del volume di blowdown.

1.4 Recupero e riutilizzo da blowdown

L'acqua di soffiamento dei DAHU viene catturata e convogliata nuovamente attraverso il sistema di trattamento invece di essere scaricata nello svuotamento. Al CoC 5, lo scarico rappresenta il 20% della composizione totale, il recupero di quest'acqua trasforma un prodotto di scarto in una risorsa a circuito chiuso tramite l'Ancillary Water Building (AWB).

1.5 Raccolta delle acque piovane e recupero delle acque reflue

Il deflusso dell'acqua dai tetti e dai pavimenti viene raccolto, trattato e utilizzato come acqua di recupero per il raffreddamento. Inoltre, il condensato DAHU viene recuperato e restituito al sistema. Le impostazioni delle valvole di scarico sono state corrette per eliminare perdite a basso livello che in passato contribuivano a perdite d'acqua inutili.

1.6 Raffreddamento libero e progettazione passiva

Il sistema DEC/DAHU opera in modalità asciutta (zero acqua) quando le condizioni ambientali sono al di sotto della soglia di evaporazione. Il contenimento in corridoio caldo/corridoio freddo, la logica di transizione ottimizzata da secco-umido, gli azionamenti a velocità variabile dei ventilatori EC e le prestazioni migliorate del tessuto edilizio estendono tutti la percentuale dell'anno di funzionamento senza consumo d'acqua.

1.7 Sommario

L'effetto combinato di queste iniziative ha permesso di ridurre il consumo effettivo d'acqua a circa un terzo delle stime iniziali di progetto.

Le sezioni seguenti presentano l'analisi dettagliata della domanda annuale di picco IW.

Iniziativa	Categoria	Meccanismo
Setpoints Elevati	Operativi	Aumenta la soglia di innesco evaporativo, riducendo le ore in modalità bagnato
Aumento del CoC (3→5)	Chimica dell'acqua	Riduce il moltiplicatore di recupero da 1,50× a 1,25×
Osmosi inversa	Trattamento	Consente un aumento del CoC rimuovendo i minerali disciolti
Riutilizzo del Blowdown	Recupero	Ricircola la spurgatura DAHU tramite il sistema AWB
Raccolta dell'acqua piovana	Recupero	Compensa l'acqua dell'utilità con il deflusso del sito
Recupero delle acque reflue	Recupero	Cattura il condensato; elimina la perdita di valvole di scarico
Raffreddamento libero e progettazione passiva	Meccanico	Massimizza le ore di funzionamento in modalità secca senza acqua

Analisi della domanda annuale di picco IW

2. Configurazione di progettazione

Il campus del Data Centre a Rho e Pero, al completo sviluppo, avrà i seguenti parametri progettuali:

Parametro	Valore
Carico IT	79.200 kW (18 fasi × 2.200 kW/lineup)
Sale Dati	4
Unità di trattamento dell'aria (AHU)	152 unità
Flusso d'aria di progettazione AHU	44,13 m³/s ciascuno (6.707 m³/s campus totale)
Efficienza evaporativa	88%
Cicli di concentrazione	5.0
Limite di capacità delle utenze IW	16,12 L/s
Fonte dei dati meteorologici	AccuWeather LIML-HOURLY (Milano Malpensa)
Periodo dei dati meteorologici	1994–2024 (270.888 ore / 31 anni)

2.1. Metodologia della simulazione oraria

Il calcolo dell'acqua è stato effettuato utilizzando 270.888 ore di dati AccuWeather da Milano Linate (LIML) per gli anni dal 1994 al 2024. Per ogni ora, lo stato psicrometrico dell'aria esterna (temperatura del bulbo secco, temperatura del bulbo umido, temperatura del punto di rugiada, rapporto di umidità ed entalpia) viene calcolato per determinare se è necessario il raffreddamento evaporativo in base al fatto che la temperatura dell'aria esterna superi il punto di regolazione della temperatura dell'aria di alimentazione (SAT).

Quando la modalità evaporativa si attiva, il modello calcola la massa dell'acqua evaporata in funzione del flusso d'aria su tutte le 152 AHU, la differenza nel rapporto di umidità tra aria in ingresso e in uscita in relazione all'efficienza del mezzo evaporativo, e la densità dell'acqua. Viene poi calcolato il blowdown. La somma di evaporazione e blowdown fornisce la domanda totale oraria di recupero IW in m³.

Questo processo si ripete per ogni ora di ogni anno e si aggrega nei totali dell'anno solare. Il calcolo seleziona quindi l'anno civile in assoluto peggiore (massimo) come domanda massima annuale di base.

Catena di calcolo

- I dati meteorologici orari (Tdb, Twb, pressione) → condizioni psicrometriche per ciascuno di 8.760 ore/anno
- Modello AHU: 152 unità × 44,13 m³/s = 6.707 m³/s flusso d'aria totale nel campus
- Quando l'OAT supera il setpoint SAT, si attiva la modalità evaporativa
- Evaporazione = f(flusso d'aria, rapporto di umidità OA, rapporto di umidità SA, efficienza di evaporazione = 0,88)
- Blowdown
- Totale di composizione IW = Evaporazione + Blowdown

- Somma tutte le 8.760 ore → domanda annuale per quell'anno
- Ripetizione per tutti i 31 anni (1994–2024) → massimo selezionato = 2003 a 18.961 m³

2.2. Perché il 2003 è l'anno di massimo successo

Il 2003 ha prodotto una domanda di 18.961 m³ di IW, tre volte la media di 6.294 m³/anno, e il 33% in più rispetto al secondo anno peggiore (2022, con 14.298 m³). Questo è causato dalla storica ondata di caldo europea del 2003, che ha portato una combinazione straordinaria di severità e durata nell'area di Milano. Il sistema evaporativo sarebbe stato attivo per 620 ore quell'anno, rispetto a una media di 31 anni di 230 ore, quasi 2,7 volte più della media. La temperatura media del bulbo secco durante il funzionamento evaporativo era di 33,0°C, con picchi che raggiunsero i 38,9°C l'11 agosto 2003.

Confronto annuale di 31 anni (Top 10 anni)

Anno	Domanda (m³)	Rifiuti (m³)	Orari di evaporazione	vs Media
2003	18,961	3,792	620	**3.0×**
2022	14,298	2,860	462	2.3×
2015	12,032	2,406	350	1,9×
2024	10,183	2,037	363	1,6×
2023	9,282	1,856	265	1,5×
2019	8,669	1,734	325	1.4×
2017	8,613	1,723	301	1.4×
2009	8,079	1,616	305	1.3×
2006	7,882	1,576	252	1.3×
2001	7,220	1,444	281	1.1×
Media	**6,294**	**1,259**	**230**	**1.0×**

2.3. Ripartizione mensile della domanda 2003

La domanda era concentrata interamente nei mesi caldi, con consumo zero da ottobre ad aprile:

Mese	Domanda (m³)	% dell'annuo	Orari di evaporazione	Picco di Tdb (°C)	Frequenza cardiaca di picco (m³)
Maggio	180.9	1.0%	12	32.2	28.7
Giugno	5,258.6	27.7%	170	36.1	74.0
Luglio	3,190.8	16.8%	149	35.0	57.2
Agosto	**10,178.1**	**53.7%**	**269**	**38.9**	**104.1**
Settembre	153.0	0.8%	10	32.2	28.8
TOTALE	**18,961.4**	**100%**	**610**	**38.9**	**104.1**

2.4. Agosto 2003 — Il Contributore Dominante

Solo agosto ha rappresentato oltre la metà del totale annuo (10.178 m³ / 53,7%), con una domanda evaporativa che si verifica ogni singolo giorno del mese, ovvero una striscia continua di 31 giorni di caldo. Questa è stata una conseguenza diretta dell'ondata di caldo europea del 2003, che ha stabilito record di temperatura assoluti in Italia e in gran parte dell'Europa occidentale.

Top 10 giorni di picco nel 2003:

Data	Domanda giornaliera (m³)	Picco di Tdb (°C)	% del totale di agosto
11 ago 2003	745.5	38.9	7.3%
10 ago 2003	658.8	37.8	6.5%
5 ago 2003	639.8	37.8	6.3%
6 ago 2003	613.3	37.2	6.0%
13 ago 2003	574.7	37.8	5.6%
4 ago 2003	541.3	37.2	5.3%
13 giugno 2003	513.0	36.1	—
12 ago 2003	512.7	37.2	5.0%
9 ago 2003	511.1	37.2	5.0%
23 ago 2003	473.9	36.1	4.7%

Ora di punta: 11 agosto 2003 alle 16:00 — la temperatura a bulbo secco ha raggiunto i 38,9°C e la temperatura a bulbo umido 26,5°C, producendo un tasso di recupero di 104,1 m³/ora (28,92 L/s), di cui 83,3 m³/ora per evaporazione e 20,8 m³/ora per blowdown.

2.5. Fisica dell'evaporazione e relazione tra CoC

La domanda totale di IW è la somma di due componenti: l'acqua evaporata per il raffreddamento e l'acqua di soffio scaricata per mantenere la qualità dell'acqua ai cicli di concentrazione (CoC) target.

Per il 2003, questo porta:

Componente	Volume annuale (m³)
Evaporato (80% del totale)	15.169 m³
Soffiatura/Rifiuti (20% del totale)	3.792 m³
Totale IW	**18.961 m³**

2.6. Profilo di intensità di domanda

Quando la modalità evaporativa era attiva (610 ore su 8.760, ~7% dell'anno), la domanda oraria variava da quasi zero a condizioni di attivazione marginali (~30,6°C) fino al picco di 104,1 m³/ora. La distribuzione dell'intensità mostra che la maggior parte del consumo d'acqua è determinata da un numero relativamente piccolo di ore di calore estremo che producono tassi di evaporazione sproporzionatamente elevati:

Percentile	Domanda oraria (m³/ora)
Minimo	~0 (evaporazione marginale a 30,6°C)
25° percentile	13.9
Mediana (50°)	28.3
Mediocre	31.1
75° percentile	41.8
95° percentile	70.9
Massimo	**104.1 (11 ago 16:00, Tdb 38.9°C)**

2.7. Dati di Output di Calcolo

Le seguenti cifre sono state ottenute direttamente dal calcolo per il campus del Data Centre a Rho e Pero.

Figura 1: Distribuzione mensile della domanda di IW (tutti gli anni)

Questo diagramma a scatola mostra la distribuzione statistica della domanda mensile di IW su tutti i 31 anni di dati meteorologici (1994–2024). Illustra chiaramente la concentrazione stagionale della domanda nel periodo giugno-agosto, con agosto che mostra la maggiore diffusione e i valori eccezionali più alti — riflettendo anni come il 2003, quando il caldo estremo ha prodotto un consumo eccezionalmente elevato.

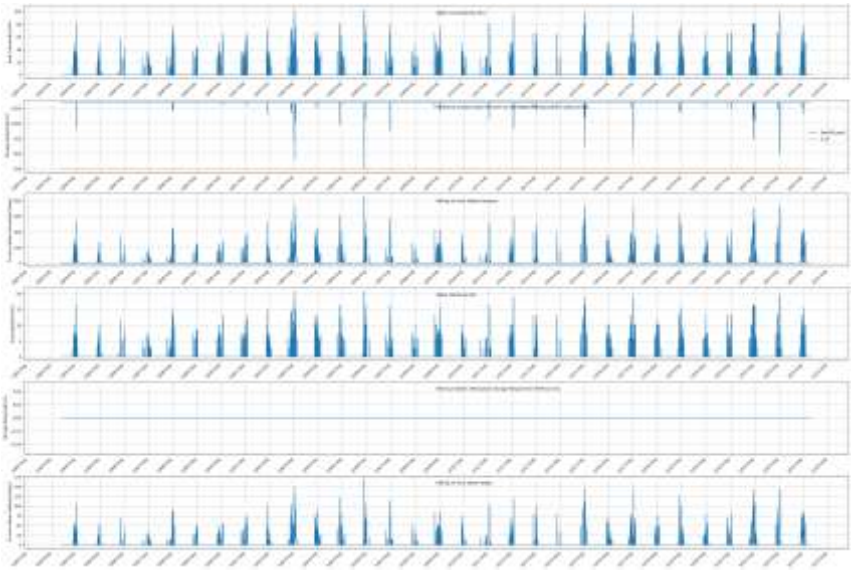
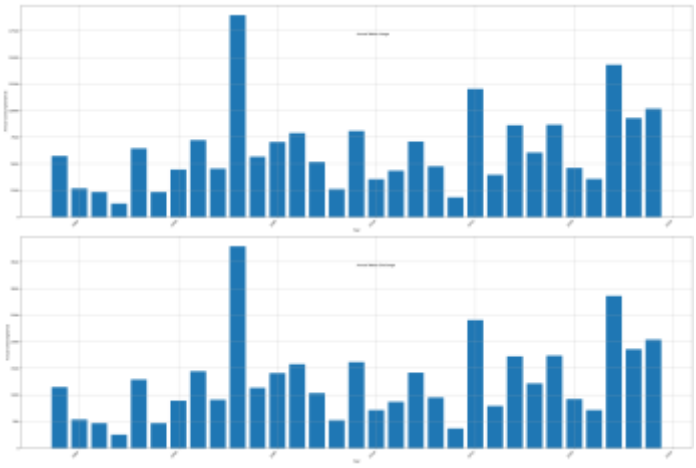


Figura 2: Distribuzione mensile di rifiuti/soffiamento IW (tutti gli anni)

La corrispondente distribuzione dei rifiuti (blowdown) rispecchia il profilo di domanda esattamente a 1/5 del volume, coerente con l'impostazione CoC = 5,0. I rifiuti tracciano la domanda proporzionalmente poiché blowdown = evaporazione / (CoC − 1).



3. Conclusioni

La domanda di acqua industriale annua massima di 18.961 m³/anno rappresenta lo scenario peggiore in assoluto derivato da 31 anni di dati meteorologici storici, guidati dall'eccezionale ondata di caldo europea del 2003. Le temperature operative elevate nel data hall hanno aumentato la soglia di innesco evaporativo, riducendo direttamente le ore in modalità umida. L'aumento dei cicli di concentrazione da 3 a 5 ha ridotto il moltiplicatore di compensazione da 1,50× a 1,25×, causando una riduzione del 17% della domanda idrica totale. Il pretrattamento a osmosi inversa consente questa operazione più elevata con CoC, mentre il recupero per blowdown tramite l'AWB trasforma ciò che prima era un flusso di rifiuti in una risorsa a circuito chiuso. La raccolta dell'acqua piovana, il recupero della condensa e la regolazione delle regolazioni delle valvole di scarico compensano ulteriormente il consumo di acqua delle utenze. Combinate con la massimizzazione del raffreddamento libero, il contenimento di corridoi caldi/corridoi freddi, azionamenti a velocità variabile dei ventilatori EC e prestazioni migliorate del tessuto dell'edificio, queste iniziative hanno collettivamente ridotto il consumo effettivo d'acqua a circa un terzo delle stime iniziali di progetto. La domanda massima di 18.961 m³/anno rappresenta quindi una cifra di base progettuale conservativa che tiene conto degli scenari climatici estremi, mentre le strategie operative e meccaniche descritte sopra dimostrano un chiaro impegno a minimizzare il consumo idrico per tutta la durata dell'impianto.